

Affordance++：允许对象交流动态使用

佩德罗-洛佩斯、帕特里克-乔内尔和帕特里克-鲍迪施

哈索-普拉特纳研究所，德国波茨坦

{firstname.lastname}@hpi.de

ABSTRACT

我们建议通过允许物体传达动态使用来扩展物体的承受力，例如（1）运动（例如，喷雾器在被触摸时摇动），（2）多步骤的过程（例如，喷雾器只有在摇动后才喷出），以及（3）随时间变化的行为（例如，空喷雾器不再允许喷出）。然而，我们不是直接增强物体，而是通过增强用户来实现这一概念。我们称其为*负担能力++*。通过使用电子肌肉刺激用户的手臂，我们的原型允许物体不仅使用户驱动它们，而且在仅仅接近物体时也能执行所需的动作，例如不碰那些不“想”被碰的物体。在我们的用户研究中，*affordance++*帮助参与者成功地操作自然承受力差的设备，如多功能切片工具或磁性扫钉器，并远离装有热液体的杯子。

关键词：肌肉电刺激；承受力。

ACM 分类。 H5.2 [信息界面和展示]。用户界面。输入设备和策略，交互方式。

简介

适应性是可用性的一个关键概念。当有良好标识的物体“暗示如何使用”[7]时，它们就避免了培训的必要性，并让用户能够随时使用。例如，物理对象使用它们的视觉和触觉线索来向用户暗示可能的使用范围[7]。

不幸的是，物理对象是有限的，它们不能--不容易沟通使用，涉及（1）运动。

（2）多步骤的过程，以及（3）随时间变化的行为。例如，一个喷雾罐受到所有这三种限制：（1）它在使用前需要摇动，但不能传达摇动的情况；（2）它不能传达摇动必须在喷雾前发生；（3）一旦喷雾罐是空的，它没有办法表明它不能

允许为个人或课堂使用本作品的全部或部分内容制作数字或硬拷贝，但不得以营利或商业利益为目的制作或分发拷贝，并且在拷贝的第一页注明本通知和完整的引文。除ACM外，本作品中其他部分的版权必须得到尊重。允许盗用并注明出处。以其他方式复制，或重新发表，张贴在服务器上或重新分发到名单上，需要事先获得特别许可和/或付费。请向 Permissions@acm.org 申请许可。

CHI 2015, 2015年4月18-23日，韩国首尔，大韩民国

版权由所有者/作者持有。出版授权给ACM。ACM 978-1-4503-

3145-6/15/04...\$15.00

<http://dx.doi.org/10.1145/2702123.2702128>

越来越多的人开始使用喷剂（现在应该被扔掉）。

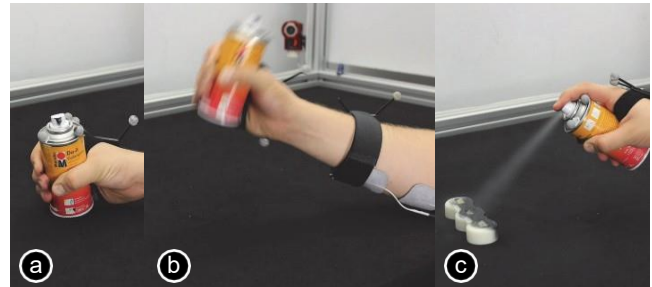


图1：Affordance++将一个物体的负担扩展至其视觉属性之外。 (a) 这个喷雾罐在使用前需要摇晃。(b) *Affordance++*允许喷雾器在使用前让用户摇晃它。我们的原型通过电刺激用户的肌肉来实现这一点。(c) 现在这个喷雾器“愿意”被使用了。

正如Djajadiningrat等人所指出的，这种类型的物理对象的基本限制是它们不能描绘时间[3]。喷雾罐是没有生命的。然而，运动、多步骤过程和随时间变化的行为是时间的现象。

解决这个问题的方法之一是为物体提供显示指令的能力，例如，使用空间增强现实显示器[20]。为了给物体提供一种更“直接”的方式来表达它们的用途，研究人员将传感器和执行器嵌入到物体中，使它们能够被动画化[21,25]。不幸的是，这种方法是每个物体的大量实施工作为代价的。

在本文中，我们提出了一个不同的观点。虽然与物体结合可以实现物体的行为，但我们认为承受力是关于实现用户行为的。原因是一个物体的某些特质不在于物体的行为方式，而在于用户与物体接触时的行为方式。

然而，在用户接触到物体之前，就已经发生了传达用户应该如何操作物体的过程的很大一部分。用户在操作门把手时，并不只是触摸把手，然后根据把手的触觉特性重新调整他们的手的位置；相反，当用户的手接近它时，该物体就已经传达了它的用途。门把手本身的触觉质量确实起到了一定的作用，但是当手到达门把手的时候，用户的手已经摆出了正确的姿势来抓握门把手。

因此，在本文中，我们建议通过控制用户行为来创造对象行为。我们通过控制用户，而不是控制对象来实现这一目标。这使得我们不是通过为对象提供响应用户的能力来实现对象的行为，而是通过重新创建对象希望用户如何响应对象来实现。

融资+

我们把这种通过控制用户行为来创造对象行为的概念称为 *affordance++*。

从概念上讲，有许多实现 *affordance++* 的方法，一般是通过将传感器和执行器应用于用户的身体，如手臂。在本文中，我们通过使用肌肉电刺激来控制用户的手臂姿势，也就是说，用户在手臂上佩戴一个设备，通过连接在用户手臂上的电极与用户的肌肉对话（我们在 "Pro-totype" 一节中详细描述该设备）。这允许一个特别紧凑的外形[14]，甚至可以说比通过机械系统的指示更"直接"。然而，*affordance++* 的概念不需要与驱动用户的特定手段相联系，而是与这样做而不是驱动用户互动的物体的概念相联系。

图1以上述的喷雾器为例说明了 *affordance++*。 *Affordance++* 允许喷雾器产生一系列不同类型的行为。在所示的例子中，当用户抓住喷壶时，喷壶会使用户摇晃它。我们的原型使用光学跟踪系统或使用用户穿戴设备中的传感器来实现这一点，该传感器可以识别喷雾罐内的标记。一旦被识别，原型就会将所需的行为回放至用户的肌肉中。

正如我们在下一节中所说明的，*affordance++* 可以让物体产生多种类型的行为，包括在物理接触之前开始的行为。通过存储关于物体状态的信息，*affordance++* 不仅可以实现运动，还可以实现多步骤的过程和随时间变化的行为。

在技术层面上，我们使用的肌肉电刺激技术能够使用户完成某些动作。然而，*affordance++* 有意避免了这一点，而是通过以低强度驱动用户的手来建议如何使用物体。这使用户处于循环之中，允许他们决定何时遵循建议，何时覆盖建议。

使用实例

我们现在以六个不熟悉的家用物品和工具为例，来证明 *affordance++* 的表达能力。在我们的用户研究中，我们对这六个例子都进行了进一步的研究。我们通过 *affordance++* 的关键特征对例子进行分组。

(1) 运动：在哪里推灯？

在图2中，*affordance++* 帮助用户操作一个相当抽象的设计的灯[1]。(a) 在这里，用户的手从左侧接近台灯。(b) 该物体的反应是将用户的手轻轻地推向右边。

(c) 在这里，它轻轻地弯曲手，建议向下推。这就把灯翻过来了，(d) 把它打开。以同样的方式。

当灯亮着的时候接近它，*affordance++* 会把用户的手移到旁边，并把它往下推以关闭灯。



图2：在这里，*affordance++* 帮助用户与一个陌生的灯进行互动。

(2) 多步骤工艺。磁力扫地机和切片机

在图3中，*affordance++* 帮助用户处理一个陌生的物体。这个"扫钉器"

"允许用户在磁铁的帮助下拿起和放下物体--

这是一个多步骤过程的例子。(a)

该工具建议在试图抓取任何其他部分时，通过排斥用户的手来抓取手柄。

(b) 之后，该设备建议通过缓慢地来回摇动手腕来扫除指甲。

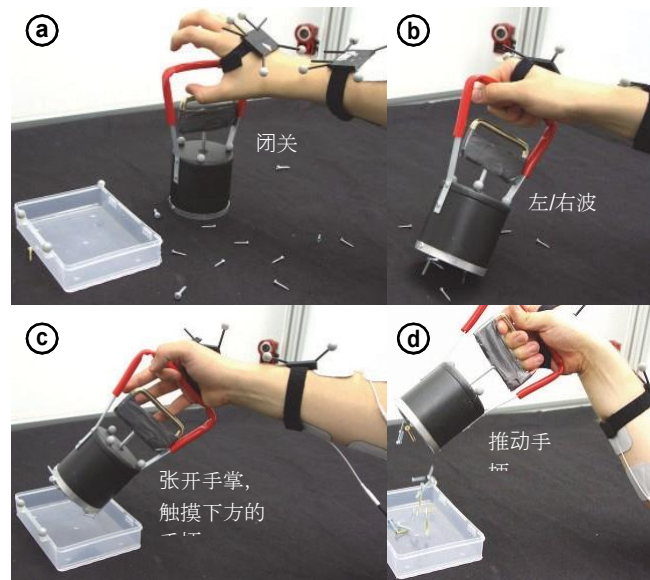


图3：磁力扫地机是一个不熟悉的工具的例子，它需要一个正确的执行顺序。

关键时刻发生在收集螺丝的时候。在这里，用户通常会伸手去拿手柄下面的杠杆，因为他们认为这就是收集螺

手机和可穿戴设备的触觉通知

丝的方式。然而，这种假设是错误的，
affordance++会排斥用户的手。

2015年CHI. 韩国首尔的十字路口

握住这个手柄，继续进行扫荡。(c)
只有当用户在容器上盘旋时，affordance++才会松开用户紧握的拳头，让用户抓住杠杆，(d)通过拉动杠杆，磁铁释放螺丝。

下一个例子，如图4所示，是一个具有多种功能的专利厨房工具。这里的挑战是找出每个部分的作用以及何时使用它。(a)

用户探索不熟悉的工具并试图抓住它。在这里，affordance++阻止了对刀刃的抓取，只允许抓取另一端。(b)抓住后，affordance++建议用刀刃切割，方法是轻轻地来回摇晃手腕。



图4：用这个工具将牛油果切成两半。

下一步是去除牛油果的果核，如图5所示。这个厨房工具通过在一个孔内提供一组刀片来提取核。(a) Affordance++使用户无法用刀尖去除果核，而(b)平行于坑洞来回挥动工具。这表明了一种猛烈的运动，使用者为了提取坑洞而进行了这种运动。



图5：使用工具提取坑洞。

最后一步是将牛油果切成片。虽然传统的方法是先剥掉皮，然后用刀逐个切开，但这个工具只需一步就能完成。然而，正如我们在用户研究中发现的那样，这个指令并不容易被发现。Affordance++在这方面的帮助是：(a)轻轻地松开抓手，暗示抓取另一端，然后再抓取另一端。

(b) 将工具向牛油果移动，建议做一个舀的动作。(c) 用户做出反应，进行铲子的动作，同时将牛油果切片。

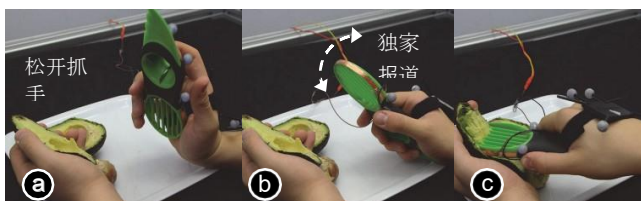


图6：这个工具可以在不剥皮的情况下将牛油果切片。

(3) 随时间变化的行为·例如·热杯。同样的机制也适用于那些当前状态未知的熟悉物体，因为物体的属性会随时间而改变。图7描述了affordance++如何支持一个物体属性的变化--这里是温度。

(a) 用户在倒热茶的时候试图抓紧其身体周围的杯子。尽管该物体的典型承受力（即圆形和小的承受力），这是一个需要重新调整承受力的案例。(b)

Affordance++现在通过过度伸展手掌来阻止用户在身体周围的抓握，(c)

通过使用户的拇指向内弯曲成捏住的姿态，只允许在手柄周围抓握。

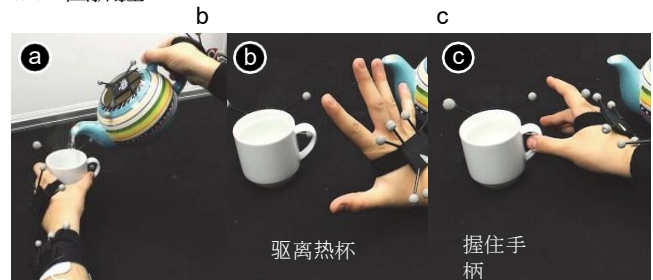


图7：根据对象的状态来改变行为。

(a)这个冷的杯子提供了抓握，(b)当热的时候，它排斥使用者的手，但(c)它的手柄继续提供抓握。

图8显示了一扇门，它根据门后发生的事情改变其行为。用户走近一个门把手，准备打开它。(a) 房间里很忙，因为里面正在开会。因此，门把手排斥用户的手，使其无法抓住门把手，而是(b)通过关闭用户的拳头和(c)来回摇动手腕来暗示敲门。使用者(d)决定用手接近门的表面来敲门。

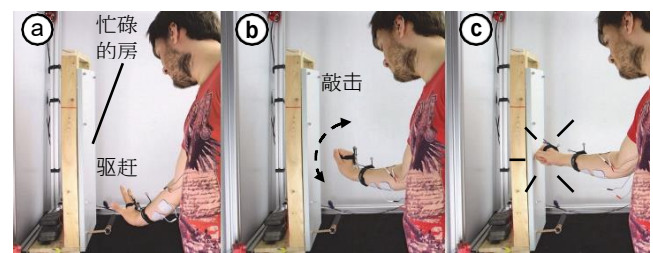


图8：(a) 当接近门把手时，(b) 它排斥用户的手，因为有人在里面。(c)

系统建议用户通过主动将手指卷成拳头并在门的表面附近敲击来敲门。用户选择用手靠近门来敲门。

这个“敲打”的例子就是我们所说的关于如何操作该物体的先期示范。图9进一步扩展了这个概念。在这里，门在不同的距离上与用户进行交流。在75厘米处，用户感觉到他们的手握成了拳头。

(b)在50厘米处，用户感觉到他们的手开始轻轻地敲击模式。最后，(d)在大约25厘米处，敲击模式变得更强。这是一个将信封附在物体上的例子。这里，信封映射到敲击手势的振幅。另一个设计是

来影响频率，也就是说，用户离得越近，敲击声就越快。

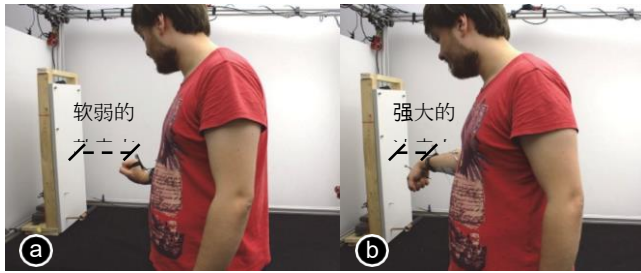


图9：当接近一扇门并打算敲门时，affordance++允许将手势振幅作为用户与物体的距离的函数来计算。

在图10中，用户正试图打开一扇门。当抓住把手时，affordance++建议向左转，防止用户转错方向。Affordance++在这里很有帮助，因为用户看不到这个机制，大多数推/拉门都是这样的[4]。

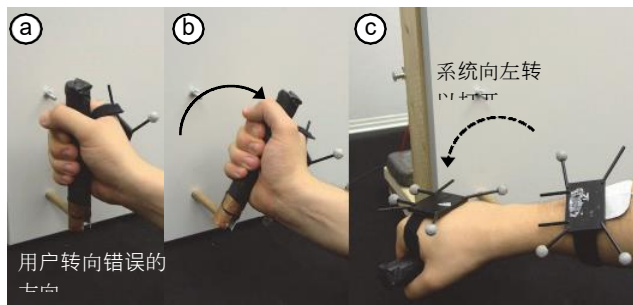


图10：通过提供正确的转弯方向来覆盖用户的意图。

同样地，这个例子也可以在远处进行先发制人的示范。当接近一扇门的手时，affordance++会在接触物体之前演示左/右转（或拉/推）。

捐献

我们的主要贡献是，我们扩展了affordance的概念，以包括动态的物体行为。因此，我们允许对象传达运动、多步骤过程和动态变化的行为。Affordance++允许对象向用户传达动态使用，但同时也让用户处于循环之中，允许他们覆盖对象的建议。affordance++的一个关键属性是，它允许物体在用户与物体进行物理接触之前就对他们产生影响。我们展示了一个简单的原型，通过对用户的肌肉电刺激来实现这一目的。我们在一项用户研究中验证了我们的概念。

反过来说，Affordance++也受到一些限制。(1) 我们基于肌肉的实现是低频带宽度，限制了对简单姿势和简单行为的处理。此外，任何基于肌肉电刺激的解决方案都需要重新校准，一旦肌肉随着时间的推移出现疲劳[9]。

(2) 我们的实现只是说明概念的简单原型。未来的版本应该整合更多的

精心设计的跟踪解决方案，例如，基于移动光学跟踪（例如，Digits[10]）。

实验方案

图11显示了我们用来探索Affordance++概念的简单原型设置。它使用肌肉电刺激，这为我们提供了一种特别直接的方法来测试用户。图中所示版本的跟踪组件是基于光学运动捕捉的。



图11：这个Affordance++原型使用一个8个摄像头的Optitrack设置进行追踪。用户的手上和前臂上佩戴了刚体标记。同时，物体，如这里显示的喷雾罐，也使用标记物进行跟踪。

肌肉电刺激

我们的原型通过使用计算机控制的电刺激单元来驱动用户的肌肉来实现物体行为。该装置由4个独立的地址通道组成。该装置通过将输出电流限制在100mA以内来实现安全操作。脉冲宽度（150 μ s-250 μ s）和频率（80-140Hz）是可变的，并按每个用户、每个通道进行校准，一旦校准就保持固定。强度是通过一个Intersil X9C102数字电位器来调节的，该电位器用于电压控制的放大器。一个微控制器（ATMEGA328）根据affordance++软件的要求将数字电位器向上/向下移动。一步变化的延迟约为1毫秒，这使得最小到最大的执行扫描（为无痛操作按用户校准）的延迟小于100毫秒。根据姿势和用户的皮肤电阻[2]，该物体使用不同的波形配置（频率和最小及最大振幅），该配置被发送到微控制器，然后调节输出电流。

肌肉驱动的

图12描述了我们在affordance++中使用的所有姿势，以及每个姿势所驱动的肌肉：挤压、转动、排斥、下降、摇晃和提高。每个动作最多使用四个电极。复杂的动作是通过组合这些动作来实现的，例如，“敲门”是由握紧拳头的挤压和敲击动作的摇晃组成的。

追踪以及如何触发对象行为

当原型检测到用户的手与一个或多个物体之间有特定的空间关系时，就会触发物体行为。

更多的跟踪对象。它通过用碰撞器对象包围目标和手来计算（图13）。当用户的手与一个物体的碰撞器相交时，就会触发相应的物体行为。通过使用不同大小的碰撞器，行为可以被触发得更近或更远。

该原型允许根据手与物体的接近程度以及用户伸手取物的时间来触发物体的行为。原型通过使用它在手的运动方向上投下的射线推断手的轨迹来计算后者。它根据过去手的位置的移动平均数（从过去的50ms=20帧）来确定运动方向。

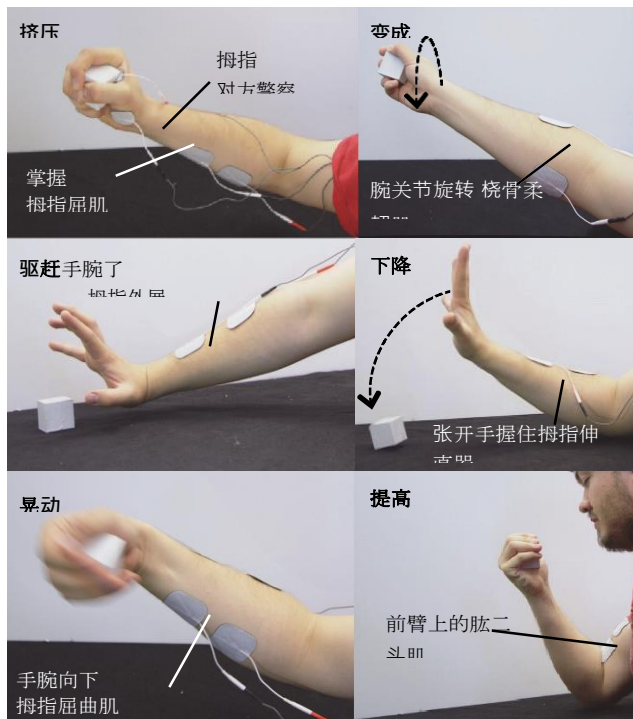


图12：Affordance++中使用的每个手势的电极。

此外，这个原型为用户提供了两种策略来解除一个正在进行的物体行为。首先，通过将他们的手从碰撞器体积中移开。其次，如果正在进行的涉及运动（如敲门），或者在手持物体的情况下（如喷壶），用户也可以通过抵制运动来取消它。

我们的原型在Unity3D引擎的基础上实现了这些机制和行为。

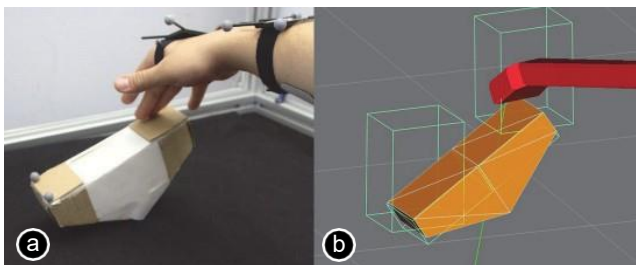


图13：(a) 这里用户接近设计者的灯。

(b)

在Unity3D中，我们检测到与边界体积的碰撞并触发下拉手势。

这个原型可以可靠地工作，但它显然受限于所显示的工作空间的大小，并受到闭塞的影响。

基于移动RFID的追踪

为了使我们能够探索移动使用，我们创建了第二个原型。虽然只限于使用RFID的近距离互动，但它允许我们对前面的一些例子进行原型化，比如图8中的门，通过在把手上放置一个RFID标签。

如图14所示，该原型包含连接在套筒上的所有电子元件。它的特点是我们前面提到的计算机控制的肌肉刺激器的双通道版本，它使用数字电位器控制，由ATMEGA328微控制器控制，它位于RFID天线后面。原型机包含S M130 Mifare 10MHz阅读器，物体包含无源标签。

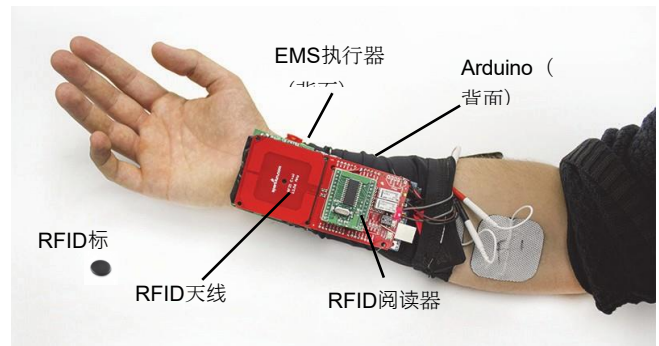


图14：基于RFID的可穿戴式样机

用户研究

为了验证affordance++的概念，我们进行了一项用户研究。

任务1的目的是验证affordance++在事实上允许交流可识别的物体行为。为此，我们让参与者触摸空白的通用物体，播放不同类型的行为。参与者通过说出他们认为物体正在执行的行为来做出反应。

任务2的目标是验证affordance++是否允许物体传达使用。我们让参与者操作六个物体，试图通过affordance++来传达其非明显的用途。

为了清晰起见，我们将程序和结果按任务分组列出。

任务1：理解诱导运动的意义

每个参与者都收到了图12所示的相同的空白、通用的白色立方体，我们为其提供了六种上述++行为中的一种：排斥、下降、转动、提高、挤压和摇晃。参与者事先没有被告知这些行为的任何内容。所有参与者都经历了所有六种行为；行为的顺序在参与者之间是平衡的。

我们给参与者两分钟的时间来探索每个行为，并鼓励他们大声地思考。然后，参与者描述了“他们觉得立方体想让他们做什么”，以及

手机和可穿戴设备的触觉通知

在7项李克特量表上对他们这一判断的自信程度进行评分。我们对参与者的回答进行了录像。

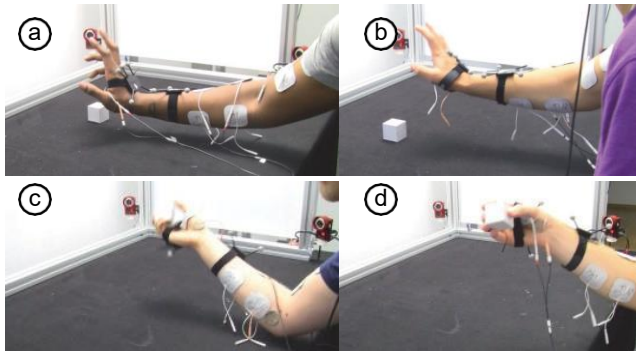


图15：四个参与者在探索 (a,b) 排斥和(c,d)提高

器械

我们使用前面描述的原型来驱动用户使用EMS，但用Wizard-of-Oz方法取代了光学跟踪。因此，向导在视觉上确认了用户与物体的接触/接近，并触发了每次试验中定义的预定刺激（即该试验的行为）。这使我们能够避免使用标记，我们认为这将使研究因暗示抓握姿势而产生偏差。它也保证了完美的“跟踪”。

每个姿势的校准大约需要2到5分钟，由实验者进行。在试验期间没有重新校准。

实验设计

为了防止任务2对任务1的结果产生偏差（通过为观察到的行为提供额外的背景），我们放弃了平衡，让所有参与者先执行任务1，然后再执行任务2。每个任务的持续时间约为20分钟（减去校准时间）。

参与者

我们从本院招募了12名参与者（2名女性，10名男性）（平均年龄=25岁， $SD=3.36$ ）。所有人都是右撇子。参与者因其时间而获得少量补偿。

结果

总的来说，在所有的试验中，76%的参与者正确地说出了该物体被设计用来传达的行为。图16按单个行为细分了结果。在剩下的24%的试验中，参与者没有说出确切的行为，但他们说出了一些相当接近的行为，如杂耍而不是摇晃。总的来说，这个结果表明，affordance++确实允许空白立方体传达可识别的物体行为。

2015年CHI. 韩国首尔的十字路口

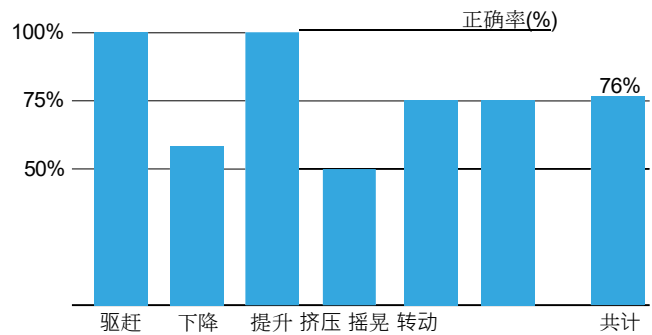


图16：正确猜测的行为，所有用户的平均值。

最成功的行为是驱赶和提高，因为所有参与者都正确地说出了它们的名字。如图17所示，这些行为的信心评分也很高。如图15所示，参与者在第一次接近物体时，有时会立即想到驱赶的正确答案。六位参与者说，“它不想被触摸”，一个“我不能触摸它”，一个“我不允许触摸它”。

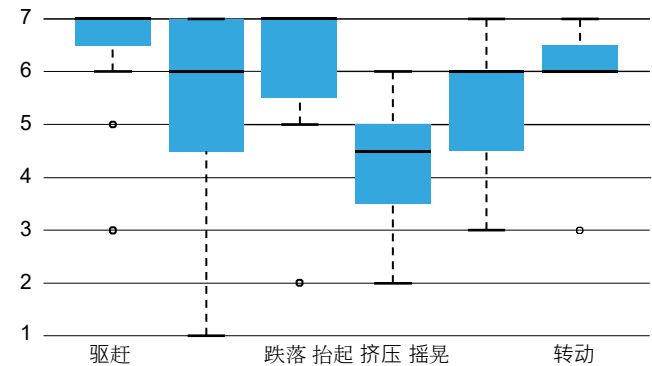


图17：每个行为的置信度（中位数和IQR，以及total的变化范围）。

抬起来也同样被参与者所理解，然而它往往需要额外的探索。“它想被举到我的面前，也许是为了吃东西”（6位参与者），“把它扔掉”（P2），或“看仔细”（5位参与者）。两位参与者补充说，“举起”应该引起更多的肌肉，如肩部肌肉，以增加真实感。

摇晃和旋转（图18）在75%的试验中被正确匹配，并被认为可以理解的。同样地，就排斥而言，我们观察到摇晃是相当迅速地被识别的，因为大多数参与者在最初的几秒钟内就提供了答案。“它让我来回移动，就像摇晃”（P4）或“它在摇晃”（P2）。

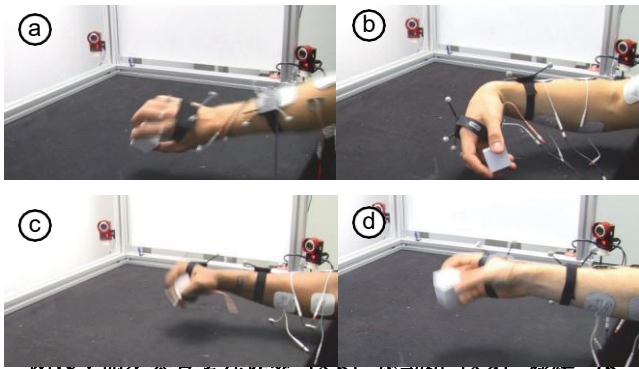


图18：四名参与者在探索 (a,b) 摆动和 (c,d) 旋转。(d) 旋转失败，因为手腕的弯曲程度大于转动程度。

跌落和挤压 (图19) 被发现具有误导性，分别有58%和50%的案例被猜中。与其他行为相比，挤压行为被认为不太容易理解。参与者将大多数与挤压有关的不匹配描述为："有点转动" (P1)，"轻微扭曲" (P3) 或 "用手指转动手掌中的立方体" (P9)。作为正确的猜测，我们将

"挤压它" (P2、P4、P10)、"用力抓" (P5) 和 "用更大的压力握住" (P12) 归为正确猜测。对我们的录像分析显示，四名参与者的挤压姿势也有一定程度的手腕转动，这是由手掌屈曲器引起的，这可能解释了这种混淆。

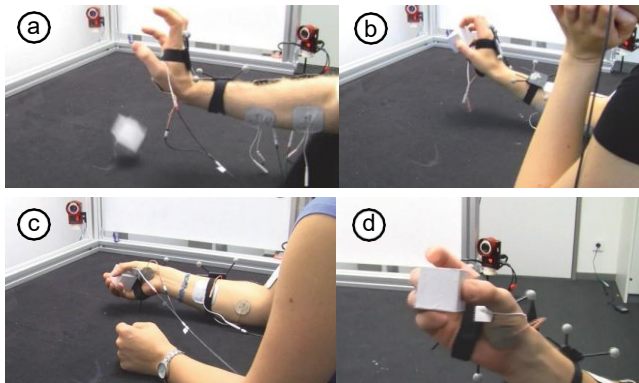


图19：四名参与者在探索 (a, b) 下降和 (c, d) 挤压。(b)这里的肌肉驱动力是不够的以使被试者掉落物品。

然而，下降仍然被评为可以理解的，因为即使立方体没有正确地从闭合的手掌中落下，这个动作仍然被认为传达了立方体 "不想被举起来" (P7) 或 "像飞镖一样被扔出去" (P12)。正确的匹配我们描述为："让它掉下来" (P3, P2)。

任务2：承受力++交流使用

这项任务的目的是为了验证affordance++确实允许物体传达使用。我们让参与者操作六个试图用affordance++来传达其非明显用途的物体。特别是，我们想评估affordance++是否能够传达前面提到的三类行为，即运动、多步骤过程和动态变化的行为。

图20显示了六次试验中每次使用的六个物体。这就是前面讨论的六个物体。它们包括三个不熟悉的工具，即带牛油果的牛油果削皮器、带钉子的扫地机和设计师灯。所有参与者都确认他们对这些物体不熟悉。接下来是三个熟悉的物体，我们提供了新的行为，即一个向左打开的门把手、一个装满热液体的杯子和一个使用前需要摇晃的喷雾罐。

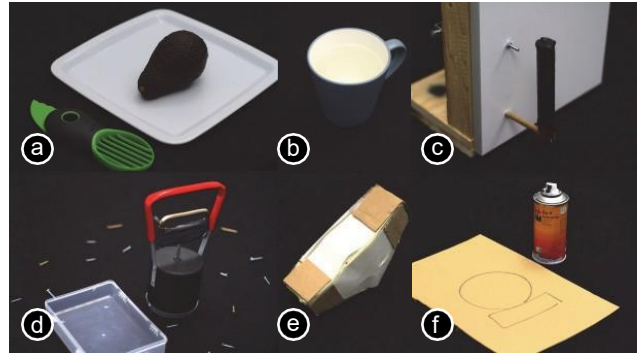


图20：任务2中使用的对象

程序

在每次试验中，我们将六个物体中的一个放在他们面前的桌子上（为了防止他们观看设置，我们在准备好之前将他们的眼睛蒙上）。然后我们要求参与者 "把牛油果切成薄片准备吃" (牛油果工具)，"把所有钉子放入容器" (扫钉器)，"把灯打开" (台灯)，"喝些水" (杯子)，"开门" (门)，以及 "画这个" (喷雾罐)。我们鼓励参与者在互动的同时大声思考。

一旦参与者完成了任务，我们就问："请一步一步地解释这个物体对你做了什么"。请注意，我们从来没有说过该物体的名称；我们只是把它称为 "物体"。参与者还自我评估了他们对建议用途的理解程度 (7项李克特量表)，他们觉得物体本身 (即，没有动作) 传达了它的用途 (7项李克特量表)，以及 affordance++帮助他们发现每个试验的用途的程度 (7项李克特量表)。

结果

十二位参与者中的每一位都成功地弄清了如何操作六个物体中的每一个。我们根据affordance++的三个关键特征来组织下面的结果。

(1) 运动，(2) 多步骤过程，以及 (3) 随时间变化的行为。

(1) Affordance++传达了运动

例如，所有12名参与者都摇晃了喷雾壶。其中10人说，他们摇晃罐子是因为当时的情况，否则他们就会忘记这样做。其中一位声称没有忘记摇晃的参与者补充说："我发现系统为我摇晃罐子是很有用的，它可以确认我将要做什么，我可能会在其他时候忘记，但这次我没有" (P4)。对于大多数会忘记摇晃的参与者来说，他们的第一反应是热情的："酷，我正忘记" (P1)。如图21所示，所有参与者

他们同意，喷雾本身并没有（从视觉上）传达出摇晃的要求，但他们理解摇晃的动作。最后--可能是考虑到他们的有用性--参与者认为affordance++在这个案例中是有用的。

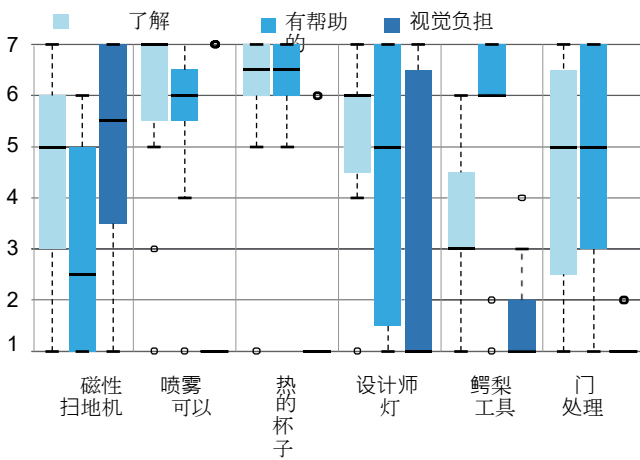


图21：参与者对六个测试对象的评分

10位参与者说他们已经想出了如何根据感应运动打开设计器的灯。他们的意见包括："这对我帮助很大，我不知道" (P2)，" (.....) 我的意图是像按钮一样按下它，但我找不到按钮" (P9)。其他两位参与者通过在所有可能的配置中重新定位台灯或者仅仅是偶然发现了倾斜机制。虽然大多数用户对台灯的视觉承受力评价较差，但有两个用户将其评价为7分（即容易从视觉上评估倾斜），并补充说："倾斜是我的第一个结论，但通过移动我的肌肉，它证实了这一点" (P3)。

(2) Affordance++传达了多步骤的过程

所有参与者在接触牛油果之前都探索了牛油果工具。当他们伸手去拿刀的时候，他们被重新逼迫，动作是暗示他们去抓另一端。然后，affordance++上下摇动手腕，暗示他们做切割动作，P3说。P3说："我以前见过这个，它意味着切"，P7说："我很困惑，但后来因为这个手势，我确信它是一把刀"。

在参与者将牛油果切成两半后，其中五人通过略微打开抓手来释放刀子，并探索了另一种去除果核的方法。其中五人表示，推杆曾建议这样做。当这些参与者意识到他们需要把孔推到果核上时，他们感到相当惊讶，而affordance++建议他们通过上下摇动工具。"当我把它放在坑上时，它告诉我应该推。当我试图使用刀片时，它排斥了[我的手]" (P11)，"我会用刀，但不会用其他的" (P6)，"它真的帮助我使用这个工具，因为我不知道[如何使用它]" (P2)。

所有参与者都试图用刀子剥牛油果，但都被affordance++排斥了。之后，affordance++打开了抓握的方式，暗示应该以不同的方式操作工具。所有参与者都做出了相应的反应，并探索了另一种持有工具的方式，例如"通常我是用勺子做的，但它不想让我切开它，这让我转动它并探索这个工具，然后

我看到了[刀片]，感觉到了如何使用它" (P7)，"舀水工具告诉我拉[指向下方的避风港]" (P11)。主要是由于除坑的步骤，例如，"所有的[步骤]都成功了，除了中间的这一部分，它真的让我很困惑" (P10)，参与者对自己对操作的理解的平均评价低于其他的任务（见图21）。不过，参与者还是觉得affordance++对鳄梨工具很有帮助。此外，所有参与者都认为，他们第一次视觉探索并没有揭示如何使用该工具。

最后，磁力扫地机是参与者对负担++的必要性评价最低的任务。这很可能是由于参与者表示该物品本身已经直观地传达了如何使用它（见图21），即"看起来像一块磁铁"（四名参与者）。此外，尽管他们在这项任务中理解了刺激物，但他们并不觉得有必要用affordance++来收集信息。所有的螺丝都要正确拧紧。

另外，有四位参与者发现系统纠正了任务的顺序："首先我想摸下边的把手 (.....) 我被排斥了 (.....)，然后它帮助我 (.....) 抓住了上边的把手"。此外，一些参与者认为拉动下端手柄会收集螺丝，这是不正确的，因为拉动下端手柄会释放磁网。当他们这样做的时候，affordance++排斥他们去拉它，他们就会做出相应的反应。"[我]做的第一件事是拉它，系统把我的手[拉开]以防止它。这很清楚，也很有帮助" (P8)。

(3) Affordance++根据状态提供动态承受力

在"喝水"任务中，12名参与者中有11人首先伸手去抓杯子的身体。他们在抓住杯子的身体时感到被排斥，几秒钟后就开始抓杯子的把手。一位参与者补充说"它不想让我不喝它的水" (P10)。此外，另一位参与者通过尝试将手指浸入液体来确认水是热的，affordance++再次排斥，该参与者说"啊！我现在感觉到热了" (P7)。这个任务所使用的affordance++姿势，即从身体上排斥和抓握手柄周围，被参与者认为是可以理解的（见图21）。所有参与者都认为，杯子没有提供视觉提示，说明它是热的。参与者对affordance++在这种情况下的帮助非常热心，大多数人补充说："对于热的液体或任何危险，非常有帮助"。

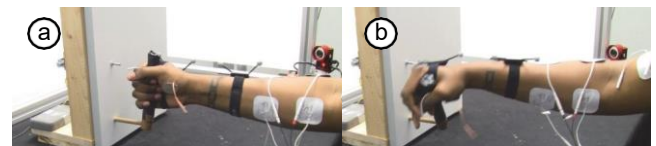


图22：覆盖常规行为的例子。

(a)由于参与者预期这扇门会向方便的一面打开，他们向右转动把手。(b) Affordance++ in-形成了一个左转的动作。

在12个案例中，有9个案例的门把手起了作用。即使是在非标准的转动方向上（左边而不是右边），部分人也

能打开门，而不需要强迫它向右或拉动它。

"我把杠杆转到了左边。这不是正常的方向"(P1), "它清楚地给了我一个转向的方向。(.....)我本来想绕过更多的东西"(P4), "我先试了一个方向, 然后它把我推到另一个方向"(P12)。此外, 所有参与者都认为, 门把手并没有直观地告知它将向哪边打开。最后, 参与者认为这个系统是有用的, 比如

"如果我[到另一种文化]旅行并找到这样一扇门, 这将是有帮助的"(P12)。

相关的工作

所提出的工作建立在负担能力、动画对象和用户的触觉动作的理论基础上。

负担能力

Affordance是人机交互中的一个基础概念, 因此可以引用很多理论背景来解释它。Gibson是最早寻求正式定义的人之一。"负担(.....)是它所提供的, 它所提供的或提供的"[7]。他的定义将承受力植根于物体为用户提供或提供使用的能力。深入挖掘, 他对负担感的定义将视觉渠道作为感知负担感的主要渠道[7]。

然而, affordance已经被无数次地重新审视和完善, 最值得一提的是Norman[4]。"承受力定义了哪些行为是可能的", "承受力是物体和用户之间的关系"。Norman将affordance限制在物理对象的领域, "affordances对于与物理对象的交互是有意义的, 但在处理虚拟对象时, 它们会让人困惑"。

有趣的是, 第一批负担理论家已经解开了它内在的动态性质, 也就是说, 一个物体的负担在时间上并不是静态的。吉布森提供了一个例子。"(.....)一个中等大小的金属物体不仅可以抓握, 还可以导电"[7]。McGrenere和Ho更进一步, 研究了物体的负担性质, 指出当前的负担由于其静态性质而具有局限性。"承受力不会随着行为者的需求和目标的改变而改变"[16]。

动画对象

与我们的提议最接近的概念是动画的机械物体, 其中一些可以在日常生活中找到, 如自动门或百叶窗和清洁机器人[6]。一个不表的例子是Tocky[24], 一个被驱动的闹钟, 它能够表达不同的行为, 比如说从用户身边跑开以刺激更快醒来。

在研究中, Djajadiningrat等人讨论了将每天的物体制作成动画是如何提供缺失的时间成分的, 显示了"物理运动作为意义的载体", 并指出人类产品的互动早已将"运动"和"时间"作为我们周围物体的质量来收集[3]。Petersen等人将动画应用于一个弯曲的显示表面, 并发现用户将意义归于不同的状态, 包括当设备在手接近时的动画[19]。Kwak等人观察了参与者对形状变化的物体的再反应, 并得出结论, 动态运动被赋予了意义; 例如, 接近阶段的变化被视为"谨慎"[12]。

节俭的水龙头"[25]通过运动与用户进行对话。这种驱动为它提供了动态的性质, 使物体能够表达三种行为: 寻求、好奇和拒绝(将用户从我们身边赶走)。CoMotion是一个被驱动的长凳, 它可以动态地改变其形状[8]-描述这种运动被证明是它的主要优势之一[21]。

Actated

Workbench是一个利用磁力在两个维度上移动桌子上的金属物体的设备, 例如, 通知用户[18]。使用超声波的类似方法[15], 可以使非金属物体发生位移, 但仅限于几克重的物体, 而且不能在用户抓取物体时对其进行驱动。

形状显示器形成动态的物理表面, 因此可以改变它们的负担。然而, 这些都是高度工程化的抽象物体, 而不是日常的家用物品。一个例子是inFORM[5], 一个物理驱动的针状显示器, 它允许直接操纵虚拟(投影)物体。此外, 它还提供了驱动日常物体的方法: 移动平板电脑、球等等。然而, 它的实现依赖于一个固定的基础设施, 仅限于桌面的形式因素。

用户的触觉驱动

大多数触觉系统使用滑轮[17]或外骨骼[26]对用户的身體施力。滑轮系统的一个例子是SPIDAR[17], 它通过拉动指尖进行位移。像FlexTensor[26]这样的外骨骼需要在用户身上安装一个外部设备。虽然这些方法提供了高精度, 例如在触觉模拟器中, 但它们不允许移动使用[14]。

相比之下, 肌肉电刺激(EMS)是一种植根于医疗康复领域的技术[22], 它允许在移动时不受限制地进行操作[14]。EMS使用电脉冲来触发不自主的肌肉收缩, 然后使用户的肌肉活跃起来[11]。Possessed Hand[23]控制用户的手指来支持学习任务, 如演奏一种新的乐器。这是一个通过驱动用户的肌肉来扩展物体(音乐指令)的负担的例子。

结论和未来工作

在本文中, 我们提出了affordance++的概念, 即对传统affordance概念的扩展, 允许物体也能传达(1)运动, (2)多步骤过程, 以及(3)随时间变化的行为。Affordance++通过驱动用户而不是物体来实现这一目的。这样一来, affordance++就能实现步行使用。

有趣的是, 由于我们驱动用户的肌肉, 而不是驱动物体, 我们期望用户能感觉到他们是描绘使用说明的人。然而, 这并不是我们在用户研究中观察到的情况。事实上, 我们观察到代理权("谁做了什么")被重新指向物体--"它不想让我不喝它的水"(P10)与"我不应该喝这个杯子"是非常不同的。后者会引起一种更以用户为中心(或以自我为中心, 即"我")的对承受力的理解, 其根源在于"我可以用这个物体做什么"。然而, 我们似乎

观察到的，更多的是前者。这就把前者投射到一个以物体为中心的视角（“它”）。此外，前面提到的在任务1中的观察表明，在某种程度上，使用者“相信”物体上有一个带有意图的脚本。例如，六个参与者说立方体

“想被抬到我的脸上，也许是为了吃东西”。这与拉图尔提出的概念联系在一起，即人类与他们操作的人工制品进行交流[13]。事实上，Verbeek说。“技术人工制品能够通过非语言信息对人类的行动施加影响” [27]。诸如“工具告诉我拉”（P11）这样的评论表明affordance++就是这种情况，在这种情况下，物体与用户的对话不是发生在语言层面上（视觉或听觉），而是通过用户的身体动作，以非语言方式进行。

在未来的工作中，还有待了解的是，另一种用户驱动技术或甚至通过机械装置使物体本身成为动画，是否会将这种以物体为中心的视角转变为一种不同的体验。

承诺

我们感谢Dominik Schmidt、Alexandra Ion和Sarah Ramsay的反馈和评论。最后，我们感谢Desiree Förster提出的哲学辩论。

参考文献

1. Baker, N., *Prism Nightlight*, <http://nicholas-baker.com/post/70963455726/prism-nightlight-the-goal-of-this>, last accessed in 9/9/2014.
2. Boxtel, V. 1至10毫安的方波电脉冲期间的皮肤电阻。Medical and Biological Engineering and Computing 15.6 (1977):679-687.
3. Djajadiningrat, T., Matthews, B., and Stienstra, M. Easy does not do it: skill and expression in tangible aesthetics. *Personal Ubiquitous Comput.* 11, 8, 2007, 657-676.
4. 唐纳德-A-诺曼。 *The Design of Everyday Things: 修订版和扩展版*。Basic Books, 2013.
5. Follmer, S., Leithinger, D., Olwal, A., Hogge, A., and Ishii, H. inFORM: 通过形状和物体驱动的动态物理负担和约束。 *Proc. uist '13*, 417-426.
6. Forlizzi, J. How robotic products become social products: an ethnographic study of cleaning in the home. *Proc. HRI '07*, 129-136.
7. Gibson, J. The Ecological Approach to Visual Perception, Psychology Press, 1979, Chapter 8.
8. Grönvall, E., Kinch, S., Petersen, M., and Rasmussen, M. 用变型凳引起骚动：体验使用中的变型界面。 *Proc. chi'14*, 2559-2568.
9. Ito, K., Takahiro S., and Toshiyuki K. 通过功能电刺激（FES）控制下肢关节扭矩和位置。 *复杂医学工程*。日本Springer公司，2007年。239-249.
10. Kim, D. Hilliges, O., Izdi, S. Butler, A., Chen, J., Oikonomidis, I., Oliver.P. Digits：使用腕部佩戴的无手套传感器在任何地方

11. Kruijff, E., Schmalstieg, D., and Beckhaus, D. Using neuromuscular electrical stimulation for pseudo haptic feedback. *Proc. VRST '06*, 316-319.
12. Kwak, M., Hornbæk, K., Markopoulos, P., and Alonso, M. 变形界面的设计空间：一个复数网格研究。 *Proc. dis '14*, 181-190.
13. 拉图尔, B.
失踪的群众在哪里？一些平凡的人工制品的社会学。在 *Shaping technology/building society*, 1992, 225-58.
14. Lopes, P., and Baudisch, P. Muscle-propelled force feedback: bringing force feedback to mobile devices. *Proc. chi '13*, 2577-2580.
15. Marshall, M., Carter, T., Alexander, J., and Subramanian, S. Ultra-tangibles: creating movable tangible objects on interactive tables. *Proc. chi '12*, 2185-2188.
16. McGrenere, J., and Ho, W.
Affordances:澄清和发展一个概念。 *Proc. Graphics Interface'00*, 179- 186.
17. Murayama, J., Bougrila, L., Luo, Y., Akahane, K., Hasegawa, S., Hirsbrunner, B., Sato, M. SPIDAR G&G: a two-handed haptic interface for bimanual VR interaction. *Proc. EuroHaptics '04*, 138-146.
18. Pangaro, G., Maynes-Aminzade D., and Ishii, H. The actuated workbench: computer controlled actuation in tabletop tangible interfaces. *Proc. UIST '02*, 181-190.
19. Pedersen, E., Subramanian, S., and Hornbæk, K. Is my phone alive?使用视频对手持设备形状变化的大规模研究。 *Proc. chi '14*, 2579- 2588.
20. Pinhanez, C. S. The Everywhere Displays Projector:创造无处不在的图形界面的设备。 In *Proc. ubicomp'01*, 315-331.
21. Rasmussen, M., Grönvall, E., Kinch, S., and Petersen, M."它是有生命的，它是有魔力的，它爱上了你"：有作用的人际关系的机会、挑战和开放问题。 *Proc. OzCHI'13*, 63-72.
22. Strojnik, P., Kralj, A., and Ursic, I.,
程序化的六通道电刺激器，用于步行时对腿部肌肉的复杂刺激。 *IEEE Trans. 生物医学*. 26, 112, 1979.
23. Tamaki, E., Miyaki, T., and Rekimoto, J. PossessedHand：使用肌肉电刺激控制人的手的技术。 *Proc. chi '11*, 543- 552.
24. Tocky, <http://www.nandahome.com>, 最后一次访问是在2014年9月9日。
25. Togler, J., Hemmert, F., and Wettach, R., Living interfaces: the thrifty faucet. *Proc. tei '09*, 43-44.
26. Tsetserukou, D., Sato, K., and Tachi, S. ExoInterfaces: novel exoskeleton haptic interfaces for virtual reality, augmented sport and rehabilitation. *Proc. AH'10*, Article 1.
27. Verbeek, P., Materializing Morality.设计伦理和技术调解，在科学、技术和人类价值 31, 2006, (3) : 361-380.